

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-148658

(43) 公開日 平成9年(1997) 6月6日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/10			H 0 1 S 3/10	A
G 0 3 F 7/20	5 0 5		G 0 3 F 7/20	5 0 5
H 0 1 L 21/027			H 0 1 L 21/30	5 1 5 B 5 2 7

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平7-310763

(22) 出願日 平成7年(1995)11月29日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 大和 壮一

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

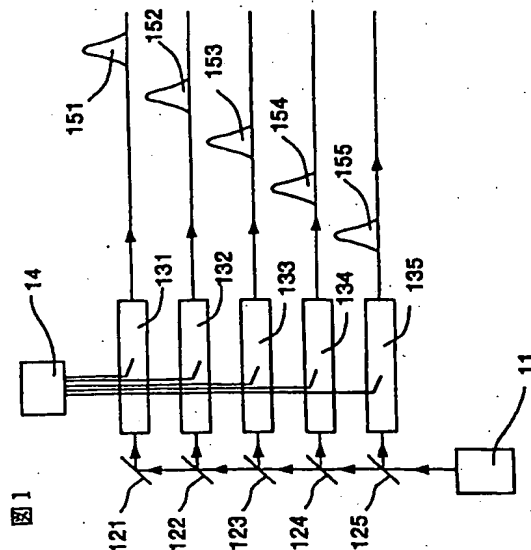
(74) 代理人 弁理士 三品 岩男 (外1名)

(54) 【発明の名称】 レーザー光源

(57) 【要約】

【課題】 露光機内部の光学系の光損傷が起らないようにピークパワーを抑えた、低コヒーレンスのパルス光を照射することができるレーザー光源を提供する。

【解決手段】 レーザーパルス光151~155をそれぞれ発生するパルスレーザー部131~135と、各パルスレーザー部での発光タイミングを制御するトリガー信号発生装置14と、インジェクション・シードを行うためのシード光を連続発生するYAGレーザー光源11と、前記シード光を各パルスレーザー部へ導く全反射鏡121及び半透鏡122~125とを有し、トリガー信号発生装置14は、各パルスレーザー部から出射されたパルス光が互いに重ならないように、各パルスレーザー部へ順次あるいはランダムに発光タイミングを指示するためのトリガー信号を与える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】パルス状のレーザー光を発生するためのレーザー要素を複数並列に構成したレーザー光発生部と、前記複数のレーザー要素の発光タイミングを制御するタイミング調整部とを有し、前記タイミング調整部は、複数のレーザーパルス光が同時に出力されないように発光タイミングを制御することを特徴とするレーザー光源。

【請求項2】請求項1記載のレーザー光源において、前記各レーザー要素は、入力されるトリガー信号に応じて、レーザーパルス光を発生するものであり、前記タイミング調整部は、前記トリガー信号を生成すると共に、前記複数のレーザー要素のうちの1つを順次選択し、その選択処理毎に、前記選択したレーザー要素へ前記生成したトリガー信号を出力するものであることを特徴とするレーザー光源。

【請求項3】請求項2記載のレーザー光源において、前記複数のレーザー要素は、各レーザー要素のレーザーパルス光の出射端面がマトリックス状に配置されて、前記レーザー光発生部を構成するものであり、前記タイミング調整部は、前記レーザー要素の選択処理に際して、空間的に隣合う位置に配置されているレーザー要素を順番に選択することを特徴とするレーザー光源。

【請求項4】請求項2記載のレーザー光源において、前記複数のレーザー要素は、各レーザー要素のレーザーパルス光の出射端面がマトリックス状に配置されて、前記レーザー光発生部を構成するものであり、前記タイミング調整部は、前記レーザー要素の選択する際に、その選択する順番をランダムとすることを特徴とするレーザー光源。

【請求項5】請求項2記載のレーザー光源において、前記タイミング調整部が前記複数のレーザー要素へ出力する、複数のトリガー信号間の間隔は、前後に発生される2つのレーザーパルス光が互いに重ならないように設定されるものであることを特徴とするレーザー光源。

【請求項6】請求項2記載のレーザー光源において、前記タイミング調整部が前記複数のレーザー要素へ出力する、複数のトリガー信号間の間隔は、前記各レーザー要素でのパルス発光間隔を、前記レーザー要素の数で割った値とすることを特徴とするレーザー光源。

【請求項7】請求項1～6のいずれかに記載のレーザー光源において、

前記各レーザー要素は、赤外から可視までの波長範囲内の光を発生する固体レーザーと、

前記固体レーザーで発生したレーザーパルス光を非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換する波長変換光学系とを有することを特徴とするレーザー光源。

【請求項8】請求項7記載のレーザー光源において、

前記複数のレーザー要素のそれぞれに供給してインジェクション・シードを行うためのシード光を発生する第2のレーザー発光部をさらに有し、

前記各レーザー要素の固体レーザーは、前記供給されるシード光により励起される、前記第2のレーザー発光部の発振波長と一致する発振波長を備えるものであることを特徴とするレーザー光源。

【請求項9】パルス状のレーザー光を発生するためのレーザー要素を複数並列に構成されたレーザー光源における発光タイミングの制御方法において、

前記複数のレーザー要素のそれぞれからのレーザーパルス光が順番に出力され、かつ、出力されたレーザーパルス光が互いに重ならないように、前記各レーザー要素の発光タイミングを制御することを特徴とするレーザー光源の発光タイミング制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レーザー光源に係り、特に、半導体製造工程で使用される露光機の光源等のように、発生したレーザー光を光学系を通して試料表面に均一に照射するための装置あるいはシステムで用いられる、低コヒーレンスでスペックルの発生を抑制することができるレーザー光を発生することが可能なレーザー光源に関する。

【0002】

【従来の技術】情報機器の進歩にともない、半導体集積回路の機能および記憶容量の向上が求められており、そのためには集積度を上げる必要がある。集積度をあげるためには、個々の回路パターンを小さくすればよいが、最小パターン寸法は、製造過程で使用される露光機の性能で決まる。

【0003】露光機は、マスク上に作られた回路パターンを、光学的に半導体ウェハーに投影、転写する。その際のウェハー上での最小パターン寸法 R は、露光機で投影に用いられる光の波長 λ 、投影レンズの開口数 NA によって、以下の式で与えられる。

$$【0004】 R = K \cdot \lambda / NA$$

ここで、 K は、照明光学系やプロセスによって決まる定数であり、通常0.5から0.8程度の値をとる。

【0005】解像度を向上させる、すなわち最小パターン寸法 R を小さくする努力は、この定数 K を小さくしようとする方向と、開口数 NA を大きくする方向、そして、露光光の波長 λ を小さくする方向に向かってなされている。

【0006】定数 K を小さくする方法は、まとめて広い意味での超解像と呼ばれている。今までに、照明光学系の改良、変形照明、フェーズシフトマスク法などが提案、研究されてきた。しかし、適用できるパターンに条件があるなどの難点があった。一方、開口数 NA は、大きいほど最小パターン寸法 R を小さくできるが、同時に

焦点深度が小さくなってしまいうので、大きくするのにも限界がある。通常0.5から0.6程度が適当とされている。

【0007】したがって、最小パターン寸法Rを小さくするのに最も単純かつ有効なのは、露光に用いる光の波長λを小さくすることであり、短波長の光を発生する、露光機の光源を提供することである。

【0008】ここで、露光機の光源を作るうえでは、短波長化を実現する以外にも、備えるべき条件がいくつかある。以下、これらの条件について説明する。

【0009】第1に、数ワットの光出力が求められる。これは、集積回路パターンへの露光・転写に要する時間を短く保つために必要である。

【0010】第2に、波長300nm以下の紫外光の場合、露光機のレンズとして使える材料が限られ、色収差の補正が難しくなることから、発光スペクトルの線幅を1pm以下にすることが求められる。

【0011】第3に、この狭い線幅にともない時間的コヒーレンス（干渉性）が上がるため、狭い線幅の光をそのまま照射すると、スペックルと呼ばれる不要な干渉パターンが生ずる。したがって、これを消すために、光源ではその空間的コヒーレンスを低下させる必要がある。

【0012】次に、従来使用されてきた代表的な露光機用光源について説明すると共に、各光源が、以上のような条件を満たし、かつ、紫外光を発生しようとする場合の問題点について説明する。

【0013】(1) 水銀ランプ
水銀ランプの発光輝線のうち、g線（波長436nm）およびi線（波長365nm）が用いられてきた。このとき得られる最小パターン寸法（以下では最小寸法と呼ぶ）はそれぞれ、約500nmおよび約350nmである。これらの光源のスペクトル線幅は、後述するレーザーより広く、したがって、時間的なコヒーレンスが低かった。線幅が広くても、これらの波長ではレンズの色収差の補正が可能であったので、従来は問題はなかった。また、水銀ランプの空間的コヒーレンスもレーザーに比べれば低く、これらのふたつのコヒーレンスの低さから、スペックルの発生は問題とならなかった。

【0014】しかし、上記水銀輝線は波長が長く、新しく要求される最小寸法に対応することが困難になってきた。水銀輝線の、より短波長の紫外輝線を使う方法も一部で用いられたが、そのスペクトル線幅が広く、紫外線域では色消しレンズの利用ができないため、紫外領域での使用が困難であるとされている。

【0015】(2) KrFエキシマレーザー
KrFエキシマレーザーは、248nmの光を発する。したがって、最小寸法も250nm付近になる。この波長では、色消しレンズの製作が困難であるので、光源レーザーのスペクトル線幅を、1pm以下に狭帯域化することが必要である。

【0016】ところが、この狭帯域化にともなって、時間的コヒーレンスが上がり、スペックルの発生が問題となる。このため、例えば「エキシマレーザーステップ」(牛田一雄、光学、23巻10号、p602、1994年10月)に記載の例では、空間的コヒーレンスを低下させるための光学系を加えて、スペックルの発生を抑えている。

【0017】露光機用のKrFエキシマレーザーは、すでに開発され使用されているが、エキシマレーザーは水銀ランプに比べて、高価で大型であり、有毒のフッ素ガスを用いる。さらに、光学系やフッ素ガスの交換などのメンテナンスが必要で、その費用が高額になるという問題があった。

【0018】また、発生する光がパルス光であるので、連続光に比べてピークパワーが大きくなり、レーザーおよび露光機内部の光学部品が光損傷を受けやすいという問題があった。

【0019】(3) ArFエキシマレーザー
ArFエキシマレーザーは、193nmの光を発する。このときの実用的な最小寸法は、190nm程度である。現在、露光機用のものは開発中であるが、このレーザーには、KrFエキシマレーザーと同じ短所がある。すなわち、高価で大型で、有毒のフッ素ガスを用い、さらに、光学系やフッ素ガスの交換などのメンテナンスが必要で、その費用が高額になる等である。

【0020】さらに加えて、露光機の色収差低減のために、レーザーの発振線幅を1pm以下に狭帯域化することが、KrFエキシマレーザーに比べて困難であるという短所がある。

【0021】また、KrFレーザーに比べてもさらにエネルギーの高い短波長のパルス光であることによって、レーザーや露光機の光学部品の損傷がKrFレーザーに比べてさらにひどくなるという欠点がある。

【0022】(4) 半導体レーザー励起固体レーザーの高調波発生による光源
紫外光を発生する方法として、2次の非線形光学効果を利用して、長波長の光（可視光、赤外光）を紫外光に変換する方法がある。例えば「Longitudinally diode-pumped continuous-wave 3.5-W green laser (L.Y.Liu, M.Ok a, W.Wiechmann and S.Kubota, Optics Letters, Vol.19(1994), p.189)」に記載されている例のように、半導体レーザー励起の固体レーザーからの光を、波長変換するレーザー光源が開発されてきている。この従来例では、Nd:YAGレーザーの発する1064nmの光を変換して、非線形結晶を用いて波長変換し、4倍高調波である266nmを発生させる方式が開示されている。

【0023】このような従来の半導体レーザー励起固体レーザー光源は、コンパクトであること、エキシマレーザーよりもメンテナンスが容易であること、電力効率が高いこと、光出力の制御が容易であることなどを長所と

して持つ。さらに、パルス光発生以外にも、連続光発生も可能である点も利点である。さらに、発振線幅を小さくする際にも、波長変換する前の長波長の段階で行うことができ、直接に紫外光を制御する必要のあるエキシマレーザーに比べて、その制御が容易である、という長所がある。

【0024】このような長所があるにもかかわらず、上記従来技術は、未だ露光機には応用されておらず、レーザー開発が実験室レベルで行われている。露光機の光源としていまだ利用されていない一つの理由は、出力パワーを上げようとする、非線形結晶の損傷が起きて、装置の寿命が短くなるという欠点があったためである。さらに、後述するような理由により、エキシマレーザーのときよりもさらに、空間的コヒーレンスが高くなってスペックルが発生するという欠点もある。

【0025】次に、スペックルの発生とコヒーレンスとの関係について、より詳細に説明する。

【0026】スペックルなどの不要な干渉パターンを除去は、光の時間的コヒーレンスを低下させること、あるいは空間的コヒーレンスを低下させることで成し遂げられる。時間的コヒーレンスを低くすることは、いろいろな周波数の光を混ぜることを意味している。一方、空間的コヒーレンスを低下させることは、発生場所と伝搬方向の異なる光を混ぜることを意味している。

【0027】ところが、露光機で使用される紫外光は、発振線幅を1 pm以下にすることが求められており、これは、結果として時間的コヒーレンスを高めてしまう。また、レーザーの発生する光は、有限個の横モードからなっており、この横モードの数が少ないことは空間的コヒーレンスの高いことを意味する。

【0028】従来、KrFエキシマレーザーを用いる露光機では、振動する反射鏡を用いてビームを複数に分割し、空間的コヒーレンスを低下させてきた。エキシマレーザーはもともと数100の横モードで発振し、空間的コヒーレンスはレーザーとしては低めであったので、上記方法で問題はなかった。

【0029】ところが、固体レーザーを非線形結晶で波長変換する場合には、非線形結晶中でビームを強くしぼる必要から、通常、ひとつの横モードで発振させることとなる。これは、空間的コヒーレンスを最高に高い状態にしてしまう事を意味し、このような場合に空間的コヒーレンスの低下させるのは、従来は困難であった。

【0030】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記従来技術の各問題点、例えば露光機の光源としてエキシマレーザーのパルス光を用いた場合に生ずる問題であるところの、連続光に比べてピークパワーが大きくなり、露光機内部の光学部品が光損傷を受けやすいという諸問題や、露光機の光源として半導体レーザー励起の固体レーザー

を用いた場合に予想される、波長変換用の非線形光学結晶の損傷や、空間的コヒーレンスの増加に伴うスペックルの発生等の問題を考慮して成されたものである。

【0031】本発明の目的は、露光機等のように発生したレーザー光を内部の光学系を通して試料へ導くようなシステムで用いられるレーザー光源において、前記光学系の光損傷が起らないようにピークパワーを抑え、かつ、低コヒーレンスのパルス光を照射することができるレーザー光源を提供することにある。

10 【0032】

【課題を解決するための手段】上記目的は、パルス状のレーザー光を発生するためのレーザー要素を複数並列に構成したレーザー光発生部と、前記複数のレーザー要素の発光タイミングを制御するタイミング調整部とを有し、前記タイミング調整部は、複数のレーザーパルス光が同時に出力されないように発光タイミングを制御することを特徴とするレーザー光源により達成される。

【0033】

【発明の実施の形態】本発明によるレーザー光源は、レーザーパルス光をそれぞれ発生する複数本のレーザー要素を束にしてレーザー光発生部を構成することにより、光源全体としてのレーザー光出力の増加を図り、さらに、各レーザー要素でのパルス光の発光タイミングを制御することにより、出力されるパルス光のピークパワーを抑えつつ、コヒーレンスの低下を図るものである。

【0034】本発明において、各レーザー要素の発光タイミングは、例えば、タイミング調整部において電気信号（トリガー信号）を発生することによって決定されるものであり、このトリガー信号を各レーザー要素に配分するタイミングをずらすことによって、各レーザー要素での発光タイミングが、予め定めた個数以上のレーザー要素において一致しないようにしている。

【0035】このように各レーザーのパルス発生タイミングをずらすことによって、光源以降の光学系が受ける光の瞬間的なパワー（ピークパワー）が低く抑えられ、光学系の損傷を回避することが可能となる。

【0036】さらに、各レーザー要素からの出力パルス光が時間的に分離されているために、お互いに干渉することがない。これによって、レーザー光源全体のコヒーレンスが低下して、スペックルの発生が抑えられる。

【0037】さらに、複数のレーザー要素のうち1個づつを順次あるいはランダムに選択して発光させているために、各レーザー要素に加えられる光学的負担を軽くすることができる。その結果、各レーザー要素の寿命が伸び、レーザー光源全体としての使用可能期間も伸ばすことができる。

【0038】また、本発明のレーザー光源においては、発振スペクトル線幅の狭い単一のレーザー光源からの光を用いて、各レーザー要素に周知のインジェクション・シード法を適用することにより、各レーザーの発振スベ

クトル線幅を小さくし、かつ、各レーザー要素の発振波長を一致させている。ここで、インジェクション・シード法については、例えば、Walter Koechnerによる、Solid-State Laser Engineering, 3rd Edition, Springer Series in Optical Sciences, Vol. 1, Springer-Verlag, ISBN 0-387-53756-2, p. 246-249に説明されている方法を用いる。

【0039】通常、複数のレーザー要素が同時発光のまま、単一のレーザーからのインジェクション・シードが行われると、各レーザー要素からの出射パルス光が互いに強い干渉性を持ち、レーザー光源としてはコヒーレンスが高くなり、スペckルの発生などの問題が起こるが、本発明では上述したように発光タイミングを制御しているため、インジェクションシードを行った場合でも、前述のような問題が生じることはない。

【0040】以下に、本発明によるレーザー光源の実施の形態の一例を図1～4を参照して、より具体的に説明する。

【0041】本実施形態において、レーザー光源は、例えば図1に示すように、レーザーパルス光151～155をそれぞれ発生するパルスレーザー部131～135と、各パルスレーザー部での発光タイミングを制御するトリガー信号発生装置（タイミング調整部）14と、インジェクション・シードを行うためのシード光を連続発生するYAGレーザー光源11と、前記シード光を各パルスレーザー部へ導く光学系とを有する。ここで、光学系は、全反射鏡121と、半透鏡122～125とから構成される。

【0042】本実施形態においては、YAGレーザー光源11と、1組の光学系及びパルスレーザー部（例えば全反射鏡121及びパルスレーザー部131）とにより、単体のレーザー要素が構成されている。

【0043】なお、図1では、レーザー光源に5つのレーザー要素が含まれている場合の構成が模式的に示されているが、実用に際しては、例えば図2に示すように、100本のパルスレーザー部131、・・・を、その出射端面131a、・・・が、10×10のマトリックス状に配置されるように並列させた構成とする。もちろん、本発明は、使用するレーザー要素の本数あるいはそれらの配置に係らず、適用することが可能である。

【0044】各パルスレーザー部は、半導体レーザー励起のYAGレーザーで、いわゆるQスイッチ法によりパルス発振をするもので、例えば図3に示すような構成を備えている。すなわち、各パルスレーザー部は、固体レーザー（レーザー共振器）300と、2倍波への変換用の非線形結晶（例えばLBO）35と、4倍波への変換用の非線形結晶（例えばBBO）36と、5倍波への変換用の非線形結晶（例えばBBO）37とを有する。

【0045】固体レーザー300は、レーザー媒質であるNd:YAGロッド32、音響光学効果を利用した変

調器33と、それらの両側に配置される反射鏡31、34とを有する。

【0046】固体レーザー300は、Qスイッチ法により波長1064nm、パルス幅約10ns、パルスの繰り返し頻度が約10kHzの基本波を発生すものであり、平均出力エネルギーは約1Wである。固体レーザー300から出射された基本波は、最初の非線形結晶35で532nmの2倍波になり、2個目の非線形結晶36で4倍波の266nmとなり、さらに、3個目の非線形結晶37を用いて、基本波と4倍波との和周波発生が行われ、5倍波の213nmに変換される。

【0047】ここで、波長の変換効率をさらに上げるために、集光レンズを設け、固体レーザー300からのパルス光を集光した後に、非線形結晶35へ入射させる構成としても良い。

【0048】本実施形態において発光タイミングを制御するトリガー信号発生装置14は、各パルスレーザー部に対して、順次に発光タイミングを指示するためのトリガー信号を与える。トリガー信号の間隔としては、例えば20nsとする。この間隔は各パルスレーザー部で発光するパルス光のパルス幅の10nsよりも長いので、異なるパルスレーザー部から出射されるパルス光は互いに時間的に分離され、干渉することがない。

【0049】図1において、151～155の曲線は、各パルスレーザー部131～135で発生したパルス強度の光軸上の空間分布を示しているものであり、この空間分布はパルス発生の時間分布にも対応している。本例では、パルスの時間幅が10nsであるので、パルスの空間的な長さは約3mになる。また、パルスの発光間隔が20nsであるので、各パルスの中心はお互いに約6m離れることになる。

【0050】また、各パルスレーザー部を順次発光させる方法を、図2に示すような10×10の計100本のパルスレーザー部からなるレーザー光源に適用した場合には、100本のすべてのパルスレーザー部での発光が終了するには2μsの時間を要する。また、各パルスレーザー部でのパルスの繰り返し周波数は10kHzであるので、一本のパルスレーザー部あたりの発光間隔は100μsあり、レーザー光源の100本目の最後のパルスレーザー部が発光してから、次に最初のパルスレーザー部が発光するまでには時間的に98μsの余裕がある。

【0051】上述したように、出射されるパルス光が互いに重ならないように、各パルスレーザー部を順次発光させることで、各パルスレーザー部に対応する各レーザー要素は互いに干渉性を持たない光源とみなせる。よって、このようなレーザー要素を総合した紫外レーザー光源を1つの光源として見た場合、当該光源から出射されたレーザー光のコヒーレンスを低く抑えることができ

【0052】本実施形態では、トリガー信号発生装置14による発光タイミングの制御によって、複数のパルスレーザー部を順次発光させる構成としたが、本発明における各パルスレーザー部の発光順序はこれに限定されるものではない。

【0053】すなわち、あるパルスレーザー部を発光させた後には、そのパルスレーザー部と空間的に隣合っているパルスレーザー部を発光させる代わりに、その発光周期において、いままでに発光していない他のパルスレーザー部をランダムに選択し、当該選択されたパルスレーザー部を発光させる構成としても良い。ここで、発光周期とは、複数のレーザー要素により構成されたレーザー光源を1つのレーザー光源として見た場合に、その光源が発光しているべき期間を指す。

【0054】また、本実施形態では、2つの出射パルスが重ならないように発光タイミングを制御しているが、本発明においてはこれに限定されるものではない。例えば、本実施形態のレーザー光源からの出射パルス光を受ける光学系の光強度がある程度あり、多少のスペックルの発生も許容できるようなシステムにおいては、前後に出射される2つのパルスの一部が重なるようにしたり、あるいは2つ以上のレーザー要素から同時にパルス光を発生するように発光タイミングを制御する構成としてもよい。

【0055】本発明のレーザー光源ではパルス光を用いているため、通常のパルス発光方法によると、その出力パルス光のスペクトル線幅が広くなり、特に、本実施形態で想定しているような紫外光の線幅に対しては、100 pm程度となる場合もある。この問題点を解消するため、本実施形態のレーザー光源では、インジェクション・シードを行っている。

【0056】具体的には、例えば0.1 pm以下の、スペクトル線幅の狭い連続光を発生するYAGレーザー光源11からの光を、半等鏡122~125と全反射鏡121から構成される光学系を用いて、各パルスレーザー部131~135へ導いて、インジェクション・シードを行う構成を有している。

【0057】本実施形態では、上記インジェクション・シードを行うことにより、各パルスレーザー部での発振スペクトル幅を0.5 pm以下に狭くすることができる。さらに、パルスレーザー部での発振波長も、YAGレーザー光源11からのシード光の波長に一致する形で揃えることができる。

【0058】この結果、図1あるいは図2に示すような、複数のパルスレーザー部を総合して構成した紫外レーザー光源において、単一のレーザー光源からシード光を各パルスレーザー部へ供給することにより、出力する紫外パルス光の波長のスペクトル幅を0.5 pm以下にすることができる。

【0059】なお、YAGレーザー光源11及びパルス

レーザー部のレーザー媒質32（図3参照）としては、YAG以外に、YLF、YVO₄等も用いることができる。ただし、レーザー光源11とレーザー媒質32とでは、発振波長が一致できるものを組み合わせる必要がある。

【0060】また、本実施形態では、レーザー光源11からのシード光を、半等鏡や全反射鏡等から構成される光学系により各パルスレーザー部へ導く構成としたが、図4に示すように、光ファイバー221~225によってシード光を各パルスレーザー部131~135へ導く構成としてもよい。

【0061】また、本実施形態では、パルスレーザー部から出力されるパルス光が紫外光である場合について説明したが、本発明では出力されるレーザーパルス光の波長に依らず、複数のレーザー要素から構成されるレーザー光源に対して適用することができる。

【0062】次に、本発明の適用したレーザー光源の他の実施形態例について、図5~7を参照して説明する。

【0063】本実施形態でのレーザー光源の構成は、上記実施形態と同じである。ただし、本実施形態では、トリガー信号発生装置14による発光タイミングの調整方法が異なる。以下では、その相違点について説明し、上記実施形態と同じ構成についての説明は省略する。

【0064】最初、上記実施形態で想定されていた発光タイミングの調整方法について、より詳細に説明する。なお、本実施形態の説明では、その都合上、レーザー光源が10本のパルスレーザー部から構成される場合を例として説明するが、本発明において、パルスレーザー部の数（レーザー要素の本数）は、これに限定されるものではない。

【0065】上記実施形態のレーザー光源での発光タイミングを図5に示す。ここでは、10本のパルスレーザー部から発生されたパルス光1~10の発光した時間が定性的に示されている。図5に示すように、上記実施例での1発光周期T₀は、各パルスレーザー部からパルス光が順次発光されているパルスが集中する発光集中期間T₁と、その後に来るパルスが全く出射されない非発光期間T₂とから構成されている。このため、上記実施例のレーザー光源を露光機に用いる場合、露光開始と露光終了の時刻が、上記の発光集中期間T₁内であるか非発光期間T₂内であるかによって、総露光量の算出方法を変える必要がある。

【0066】これに対し、本実施形態のレーザー光源では、図6に示すように各パルス光の発光間隔t₀が均等となるように発光タイミングを調整している。このように調整することで、上述したパルスの集中する発光集中期間T₁とパルスが全くない非発光期間T₂をなくすることができる。

【0067】さらに、図6に示すように発光タイミングを調整することにより、露光時間と総露光量とがほぼ比

例するような関係となる。このため、本実施形態のレーザー光源を露光機に使用することで、露光量の制御を容易にし、任意の時刻に露光を開始あるいは終了することが可能となる。

【0068】例えば、各パルスレーザー部の平均パワーが0.5Wで、繰り返し周波数が10kHz、すなわち個別のパルスレーザー部でのパルス発光間隔 t_1 が100 μ s、1つのパルスのエネルギーが50 μ Jであったとする。

【0069】このような場合、1つのパルスレーザー部のパルス発光間隔 t_1 を、当該レーザー光源に含まれるパルスレーザー部の本数 N で割った値、すなわち10 μ s ($=t_1/N=100\mu s/10$)を、次々に異なるパルスレーザー部から発光されるパルスの間隔 t_0 とする。

【0070】以上のように発光タイミングを設定することで、レーザー光源全体としてみた場合、パルスの発光間隔 t_0 が、図6に示すように、常に一定値となる。その結果、本実施形態のレーザー光源を露光機に使用した場合、露光時間を制御することで、露光量を1パルスの分解能で制御することができる。本例では、単一のレーザーパルスのエネルギーが50 μ Jなので、露光量は50 μ Jの誤差範囲で制御することができる。

【0071】本実施形態のレーザー光源の発光タイミングを制御する、トリガー信号発生装置14は、例えば図7に示すように、パルス間隔 t_0 の周期のクロック信号を発生するクロック発生装置51と、発生されたクロック信号を順に数えて、10本のパルスレーザー部のそれぞれへ、互いに間隔 t_0 だけずれたトリガー信号を出力する10進カウンタ52とから構成される。

【0072】本実施形態のレーザー光源によれば、異なるパルスレーザー部から次々と出射されるパルス光の間隔を等間隔にすることで、当該レーザー光源を露光機に使用した場合に露光時間と露光量とがほぼ比例させることが可能となる。

【0073】さらに、本実施形態によれば、上記比例関係を用いることで、露光量の制御をより容易にすることができる。

【0074】

【発明の効果】本発明によれば、露光機等のように発生したレーザー光を内部の光学系を通して試料へ導くようなシステムで用いられるレーザー光源において、前記光学系の光損傷が起こらないようにピークパワーを抑えた、低コヒーレンスのパルス光を照射することができるレーザー光源を提供することができる。

【0075】

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるレーザー光源の実施形態の一例の全体構成を示す説明図である。

【図2】本発明によるレーザー光源の出射端面近傍の構造の一例を示す斜視図である。

【図3】図1の実施形態におけるパルスレーザー部の光学的構成の一例を示す説明図である。

【図4】本発明によるレーザー光源の実施形態の他の例における全体構成を示す説明図である。

【図5】本発明におけるパルス発光タイミングの一例を示すグラフである。

【図6】本発明におけるパルス発光タイミングの他の例を示すグラフである。

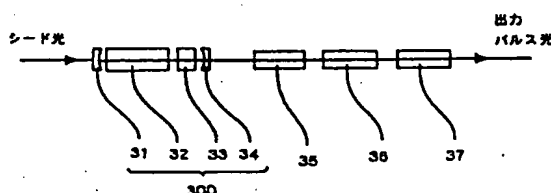
【図7】図1の実施形態例におけるレーザー光源のトリガー信号発生装置の構成例を示す説明図である。

【符号の説明】

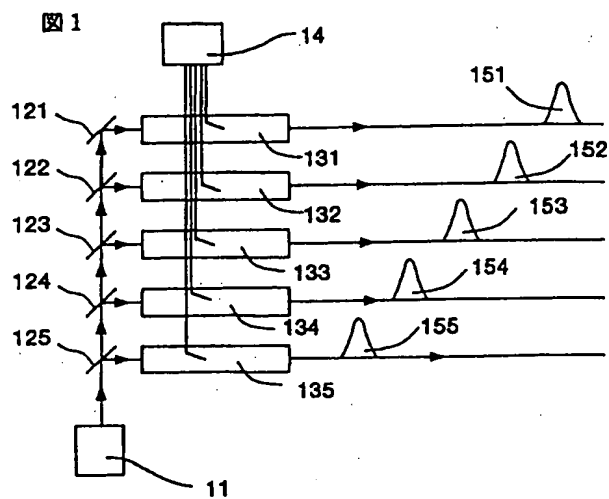
11…YAGレーザー光源、14…トリガー信号発生装置、31…反射鏡、32…Nd:YAGロッド（レーザー媒質）、33…変調器、34…反射鏡、35、36、37…非線形結晶、51…クロック発生装置、52…10進カウンタ、121…全反射鏡、122～125…半透鏡、131～135…パルスレーザー部、151～155…パルス光、221～225…光ファイバー。

【図3】

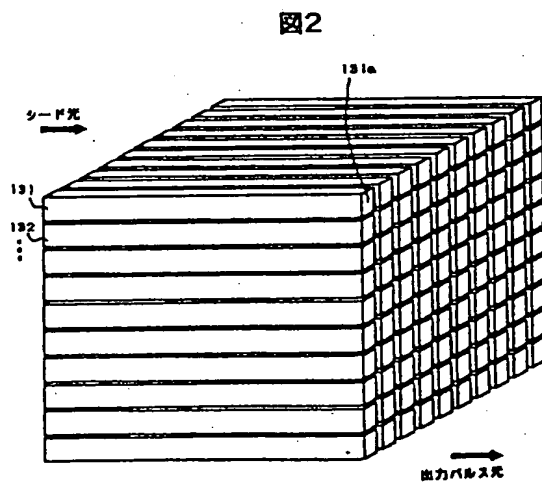
図3



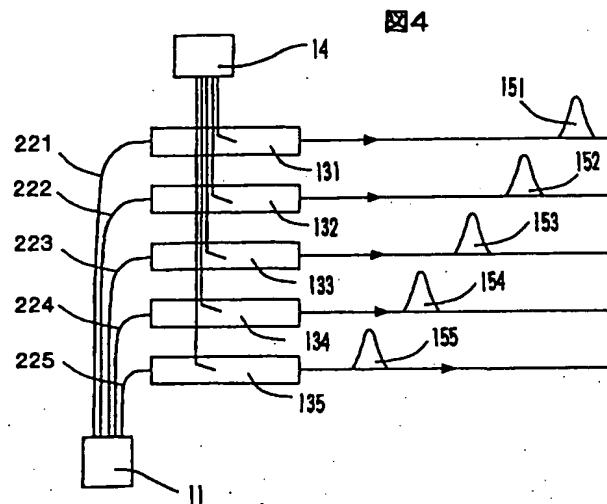
【図1】



【図2】

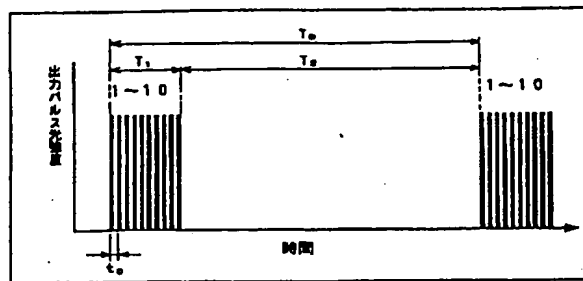


【図4】



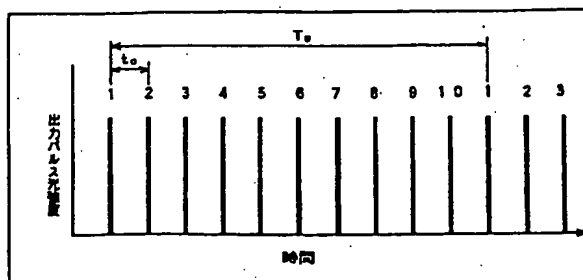
【図5】

図5



【図6】

図6



【図7】

